

Offset et coefficient en température des prototypes de poutres monofaces, non ajustées

Mesure de l'offset et de son coefficient en température des premiers prototypes de capteurs de force brasés monofaces. Les poutres sont mesurées en substrat, non ajustées, en fonction de l'épaisseur du substrat et de la présence ou non de verrage.

Thomas Maeder, 16.1.2001

Projets : MilliNewton, brasure métallique.

Mots-Clefs: capteur de force, monoface, sérigraphie, offset, coefficient en température.

Table des matières

1. Introduction	2
2. Echantillons et mesures	2
3. Résultats	3
4. Conclusions	17

Résumé

Les premiers prototypes de capteurs de force à poutre brasée réalisés dans le cadre du diplôme d'Olivier Mathis montrent trop de dispersion de l'offset, qui nécessite souvent un ajustement trop important, voire qui est impossible à ajuster dans certains cas.

Ces problèmes sont dus à la difficulté de sérigraphier des résistances au voisinage d'un monticule important de diélectrique, qui déforme la trame de sérigraphie. Cependant, une partie des substrats testés montrent de bonnes propriétés, et il devrait donc être possible d'optimiser les conditions de sérigraphie de sorte à obtenir des résultats acceptables et reproductibles.

Il est difficile de juger les résultats de coefficient en température *TCO* en raison des contraintes externes ou internes au substrat lors de la mesure en batch. Pour les substrats rigides, où on escompte une faible influence de ces facteurs, les valeurs de *TCO* sont bonnes, donnant une erreur potentielle inférieure à 5% du span sur une plage d'utilisation de ± 25 K.

A long terme, il convient de supprimer ce problème de sérigraphie en changeant la conception du capteur (résistances sur diélectrique par exemple) ou l'ordre des opérations (sérigraphie des résistances d'abord). Ces changements doivent cependant encore être qualifiés plus en détail quant à leur effet sur les propriétés des résistances.

1. Introduction

Le concept de capteur de force à poutre monoface développé ici est envisagé pour la production à très bas coût de capteurs : il requiert moins d'opérations de sérigraphie, pas de trous de passage, et une seule sérigraphie de résistances. De plus, la résistance mécanique de la poutre est potentiellement plus élevée en raison de l'absence de sérigraphie sur la partie de la face supérieure sollicitée en traction.

Par rapport à la poutre brasée biface ("MilliNewton", "SenCycle"), une technologie a dû être introduite : la brasure sur diélectrique, qui permet aux lignes conductrices du pont de mesure de passer sous la plage de brasure principale. Les premiers essais de sérigraphie ont été réalisés selon la séquence classique de fabrication.

- 1) Sérigraphie du conducteur supérieur (marquage et brasage de la bille).
- 2) Sérigraphie et cuisson du conducteur inférieur (Au fin, ESL 8837).
- 3) Sérigraphie et cuisson (séparée) de 2 couches de diélectrique (ESL 4913).
- 4) Sérigraphie et cuisson du conducteur supérieur (Ag:Pd 3:1, ESL 9635B).
- 5) Sérigraphie et cuisson du renfort de conducteur pour la brasure (Ag:Pd 3:1, ESL 9635B).
- 6) Sérigraphie et cuisson des résistances (10 k Ω , DP 2041).
- 7) Sur une partie des échantillons, sérigraphie et cuisson du verrage (env. 600°C, ESL G-481).

Si on n'a à ce jour pas observé de problèmes de tenue de la brasure et du conducteur sur le diélectrique, un autre problème lié à celui-ci est apparu : en raison de son épaisseur (env. 60 μm), il influence la sérigraphie des résistances, surtout celle des deux résistances qui se trouvent le plus près de lui. En effet, les résistances de mesures sont placées directement sur le substrat et donc 60 μm plus bas.

Le but de cette étude est de caractériser les substrats produits selon cette méthode (offset et coefficient en température), et notamment de déterminer si certains montrent néanmoins de bons résultats.

2. Echantillons et mesures

Substrats

Une série de substrats, en Al₂O₃ 96%, ont été sérigraphiés selon la séquence décrite ci-dessus. Ces substrats ont différentes épaisseurs, et peuvent comporter ou non la couche de verrage. De plus, les conditions de sérigraphie ont quelque peu été variées lors de la fabrication. La liste des substrats est donnée au tableau 2-I.

No substrat	Epaisseur [mm]	Verrage
01-707	0.25	non
01-706	0.25	oui
01-710	0.25	oui
01-704	0.5	non
01-705	0.5	oui
01-711	0.5	oui
01-700 (test)	0.63	non
01-701 (test)	0.63	non
01-702 (test)	0.63	non
01-708	0.63	non
01-709	0.63	oui
01-703	1.0	non

Tableau 2-I. Liste des substrats mesurés, triés par épaisseur.

Mesures

Les mesures ont été réalisées en batch dans le laser LS9000 de l'IPM, en mesurant la tension de sortie du pont à $T_A = 25^\circ\text{C}$ et $T_H = 70^\circ\text{C}$ (support chauffé), tout en alimentant celui-ci avec une tension V_{cc} de 10.00 V. On donne l'offset à température ambiante s_{OA} et le coefficient en température TCO pour tous les substrats, en fonction de la position de la poutre sur le substrat (fig. 2-1).

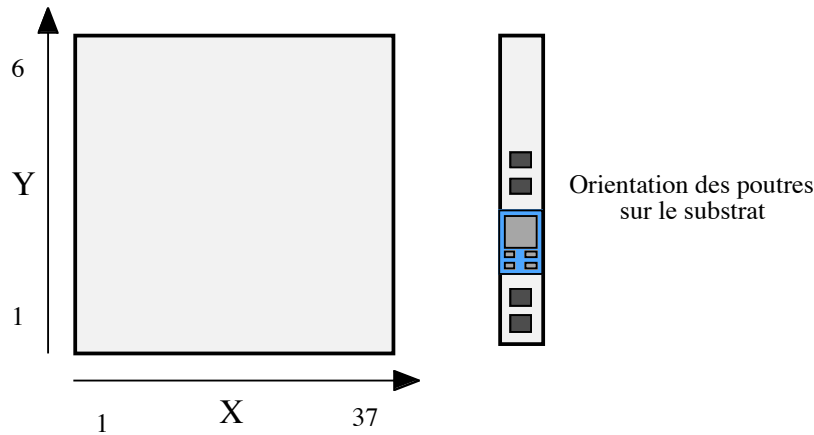


Figure 2-1. Définition des coordonnées des poutres sur le substrat. Le substrat est orienté selon le schéma de la poutre donné à droite, et comporte 6 lignes * 37 colonnes = 222 poutres.

Le signal de sortie s (ratiométrique) est calculé en général comme suit.

$$s = \frac{U^+ - U^-}{V_{cc}}$$

s	signal de sortie (ramené à la tension d'alimentation)
U^+	tension de la sortie positive (par rapport à la terre)
U^-	tension de la sortie négative (par rapport à la terre)
V_{cc}	tension d'alimentation

En l'absence de sollicitation mécanique et à température ambiante $T_A = 25^\circ\text{C}$, on a : $s = s_{OA}$, l'offset à température ambiante. De même, à haute température $T_H = 70^\circ\text{C}$, on a : $s = s_{OH}$. Le calcul du coefficient en température de l'offset TCO est donné ci-dessous.

$$TCO = \frac{s_{OH} - s_{OA}}{T_H - T_A}$$

TCO	coefficient en température de l'offset
s_{OA}, s_{OH}	offsets à températures "ambiante" et "haute"
T_A, T_H	températures "ambiante" et "haute"

En réalité, la mesure de l'offset et surtout de TCO en substrat est potentiellement entachée d'erreurs dues aux contraintes dans le substrat, qui peuvent avoir plusieurs sources.

- Lors du frittage du substrat, des contraintes internes peuvent apparaître.
- Les couches épaisses peuvent aussi mettre le substrat sous contrainte, leur dilatation thermique pouvant être différente de celle du substrat.

- Lors de la mesure, le placage du substrat sur le support, les inhomogénéités de température, voire l'effort exercé par les pointes de test pour les substrats très minces, peuvent apporter des contributions supplémentaires.

Les contraintes dans le substrat et leur dépendance en température peuvent donc être considérablement modifiées lors du cassage du substrat en poutres individuelles. Si l'erreur sur l'offset est négligeable par rapport aux résultats examinés ici, ce n'est à priori pas forcément le cas pour *TCO*, dont les valeurs mesurées ici doivent être considérées comme essentiellement indicatives en l'absence de confirmation sur des poutres individuelles.

3. Résultats

Les valeurs de l'offset s_{OA} et de son coefficient en température *TCO* sont reportées pour tous les substrats aux figures 3-1 à 3-12.

Offset

La valeur cible de l'offset pour ce circuit est de -0.05 V/V. On rappelle que, sur cette poutre, l'ajustement grossier est unilatéral, de sorte que seules les valeurs négatives de l'offset sont compensables. On dénombre grosso modo 3 catégories de substrats.

- 1) **Offset assez bon.** Les offsets sont plus ou moins centrés sur leur valeur cible, et restent négatifs. Cependant, la dispersion sur certains substrats laisse à désirer ($> 5\%$) : nos 01-702, 01-703, 01-706, 01-707, 01-710 et 01-711.
- 2) **Problème avec ligne inférieure ($Y = 1$).** L'offset est en général bon, sauf sur la ligne inférieure, où il est décalé vers le haut avec une forte dispersion. Une bonne partie des substrats souffre de ce défaut à des degrés divers : nos 01-700, 01-704, 01-705, 01-708 et 01-709.
- 3) **Offset trop élevé.** L'offset est généralement décalé vers le haut, sans présenter de dépendance marquée en fonction de la position sur le substrat, de sorte qu'une bonne partie des poutres présente un offset positif et donc non compensable. Un seul substrat (no 01-701) présente ce problème.

La présence de diélectrique lors de la sérigraphie de la résistance pose donc problème, mais la bonne qualité de certains substrats (par exemple 01-703) laisse penser qu'il est possible d'obtenir des résultats homogènes moyennant des conditions adéquates.

TCO

Les valeurs de *TCO* montrent une dispersion variable selon les substrats. Cependant, il semble qu'une partie de la dispersion de *TCO* observée ici soit due aux contraintes. En effet, cette dispersion diminue avec l'augmentation de l'épaisseur – et donc de la rigidité – du substrat (fig. 3-13). Sur le substrat le plus rigide (01-703), on atteint au pire $\pm 3 \mu\text{V/V/K}$. Si on admet que le span du capteur est d'env. 1.5 mV/V et qu'il est utilisé dans un intervalle de $\pm 25 \text{ K}$, on obtiendrait une erreur de max. 5% du span, ce qui est largement acceptable pour l'application envisagée. Ces résultats doivent cependant être confirmés sur les poutres individualisées.

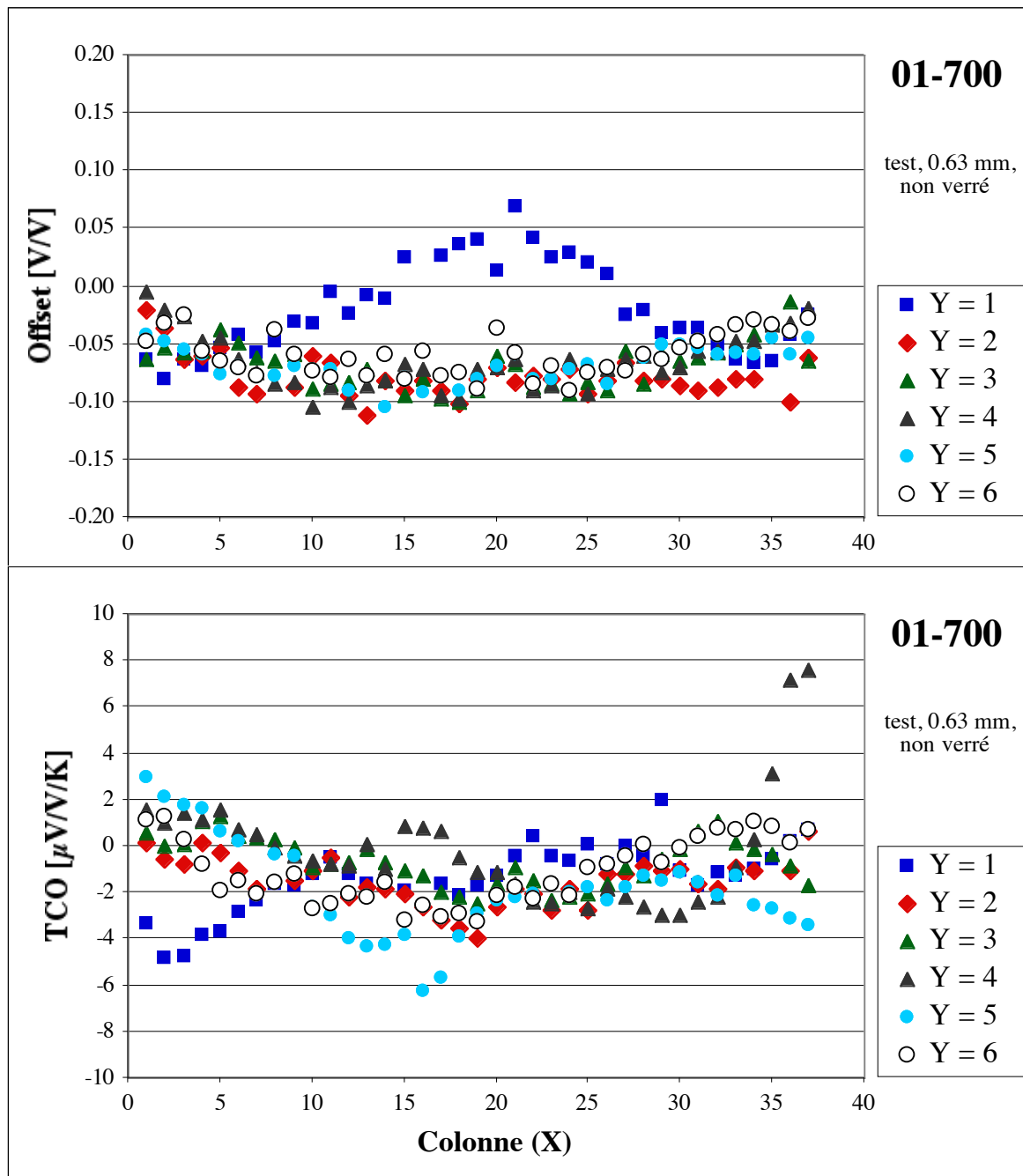


Figure 3–1. Offset et TCO des poutres du substrat 01–700 (test), en fonction de la position sur le substrat.

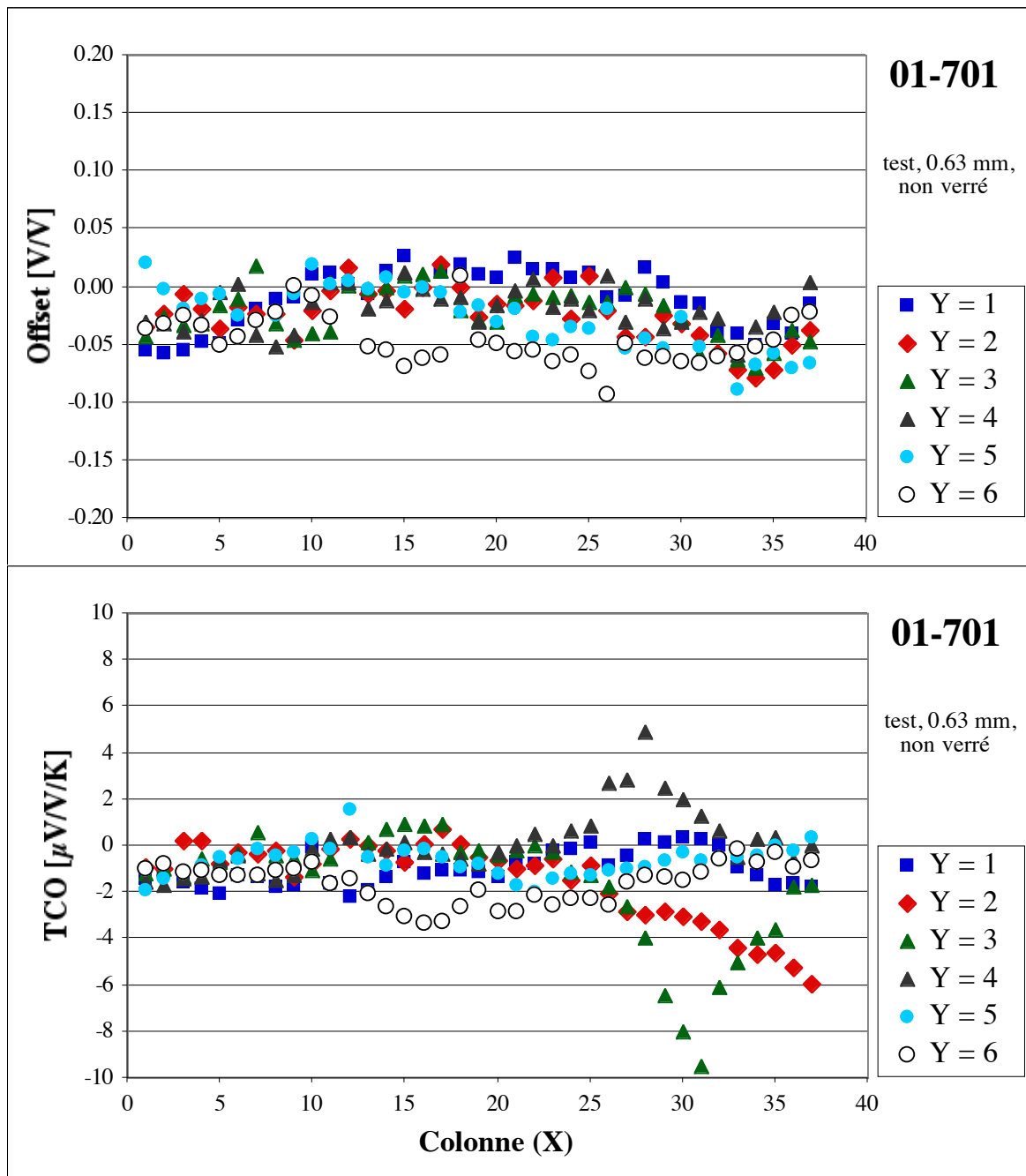


Figure 3–2. Offset et TCO des poutres du substrat 01–701 (test), en fonction de la position sur le substrat.

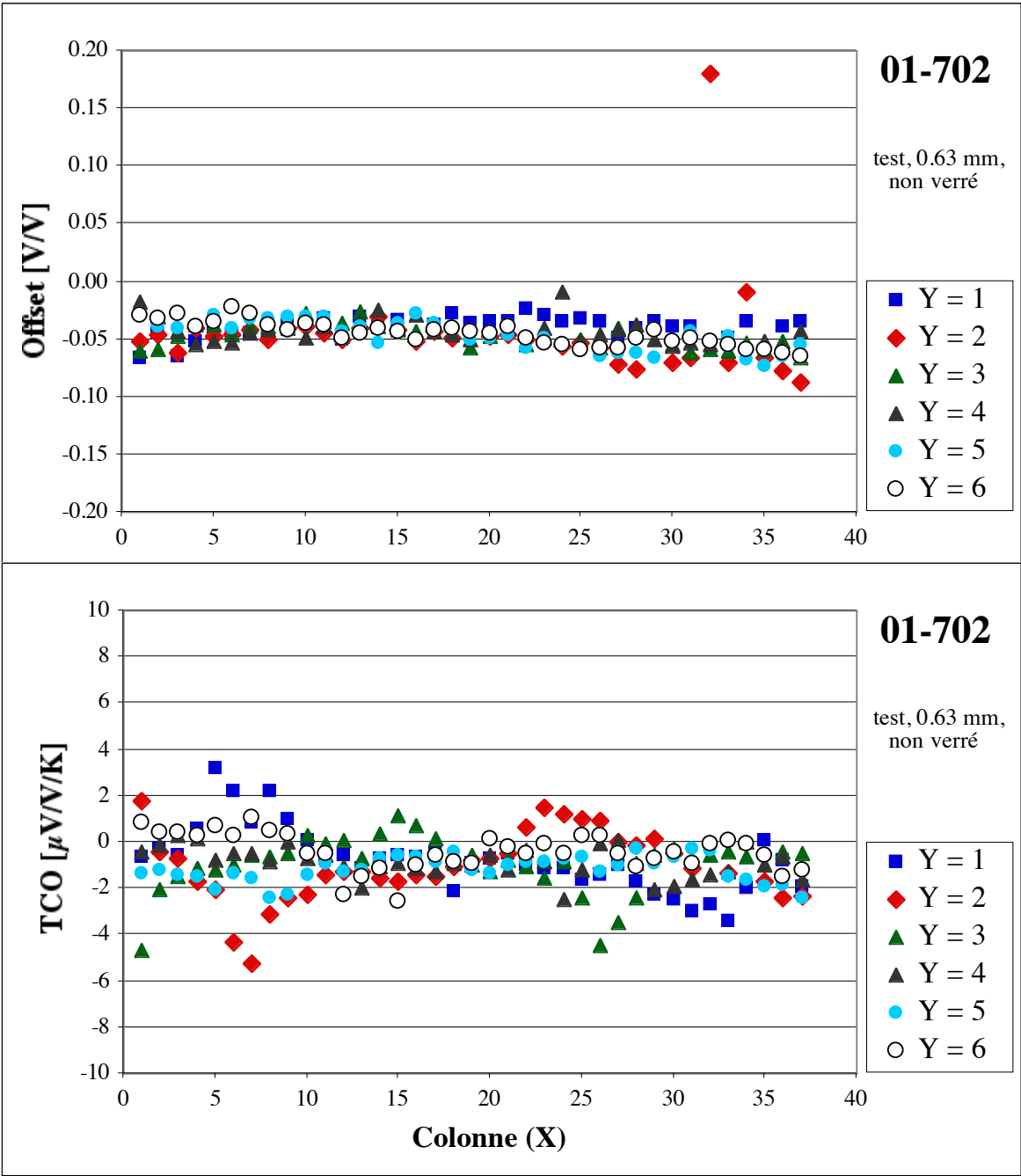


Figure 3–3. Offset et TCO des poutres du substrat 01–702 (test), en fonction de la position sur le substrat.

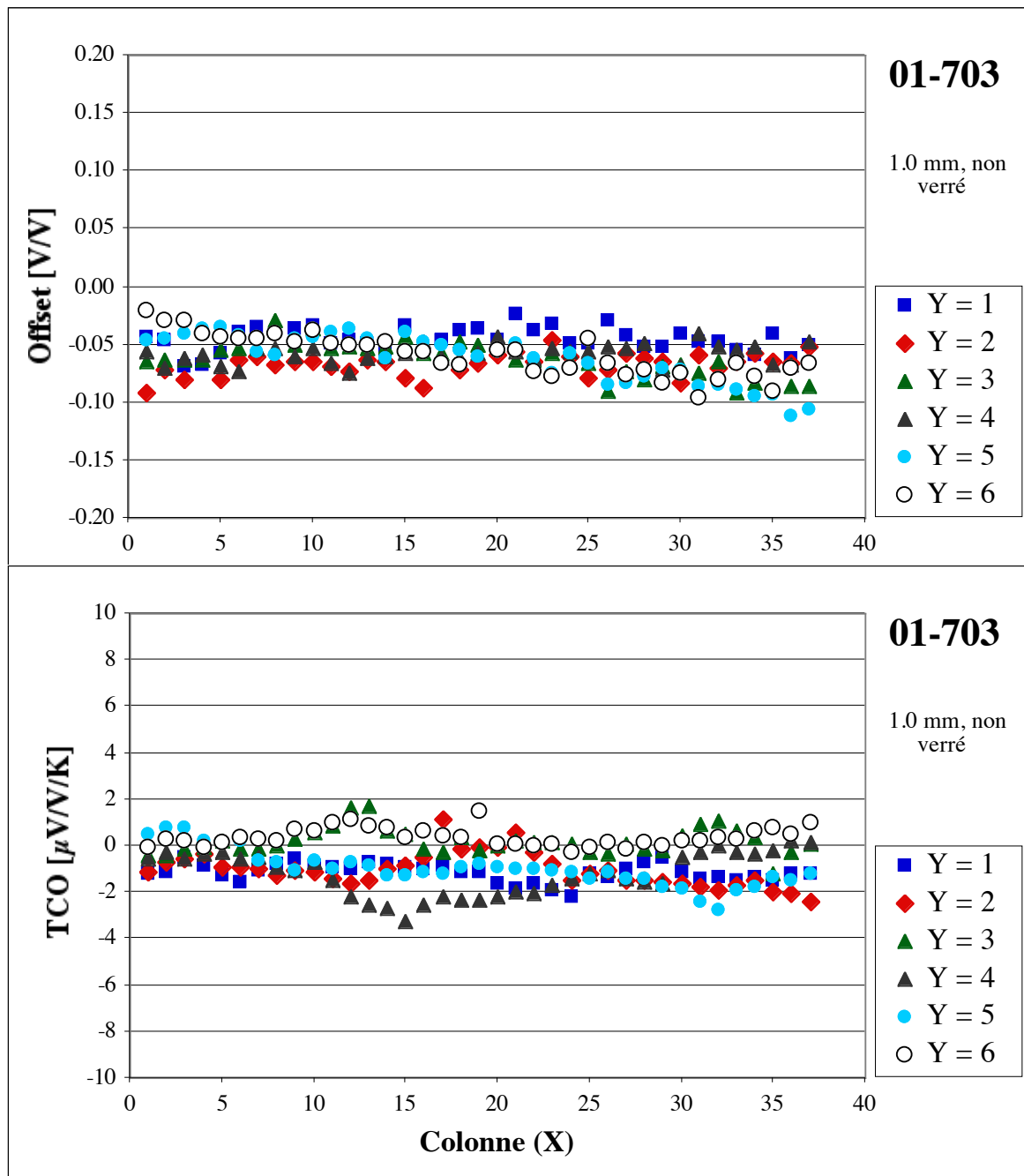


Figure 3–4. Offset et TCO des poutres du substrat 01–703, en fonction de la position sur le substrat.

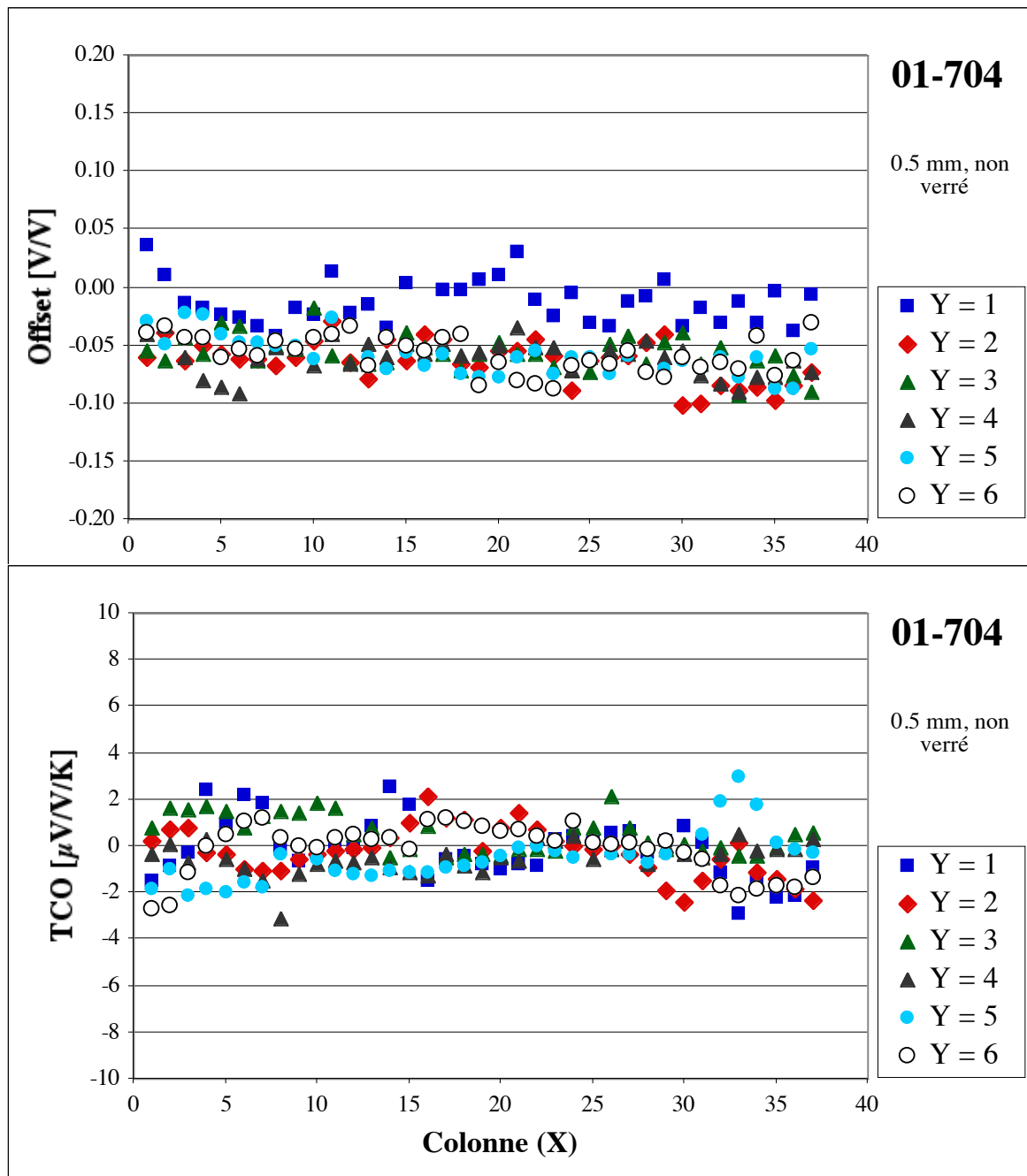


Figure 3–5. Offset et TCO des poutres du substrat 01–704, en fonction de la position sur le substrat.

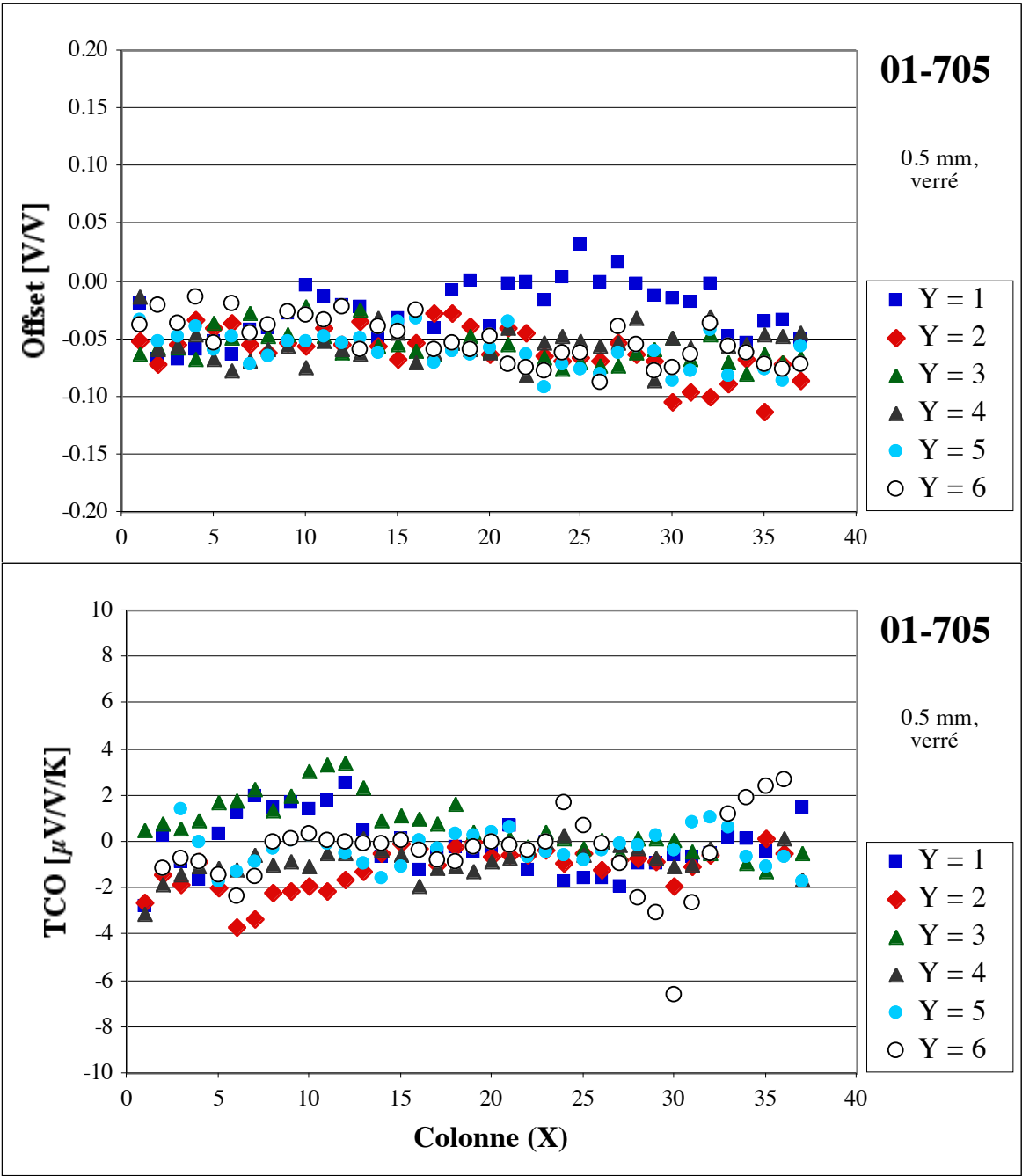


Figure 3–6. Offset et *TCO* des poutres du substrat 01–705, en fonction de la position sur le substrat.

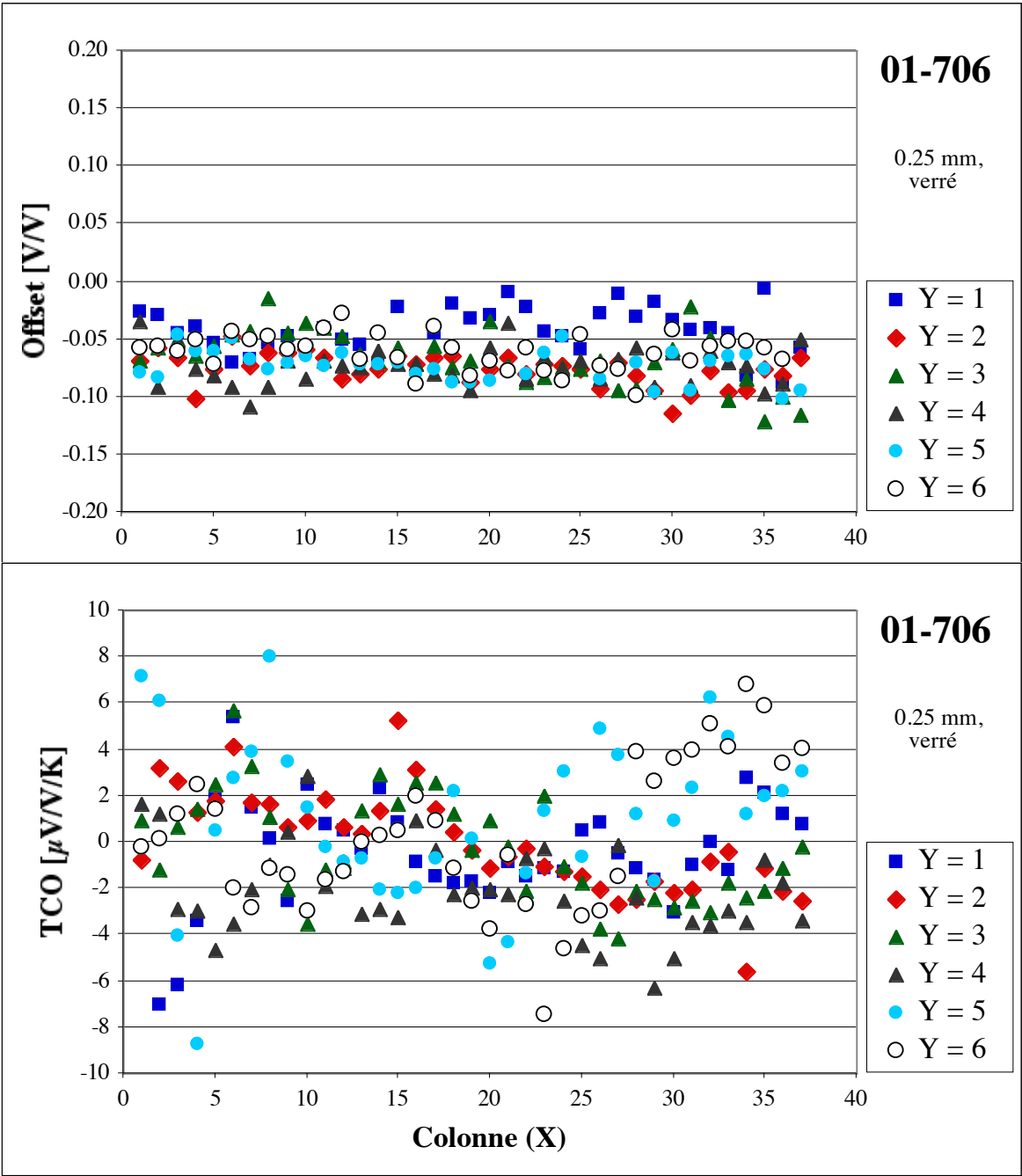


Figure 3–7. Offset et TCO des poutres du substrat 01–706, en fonction de la position sur le substrat.

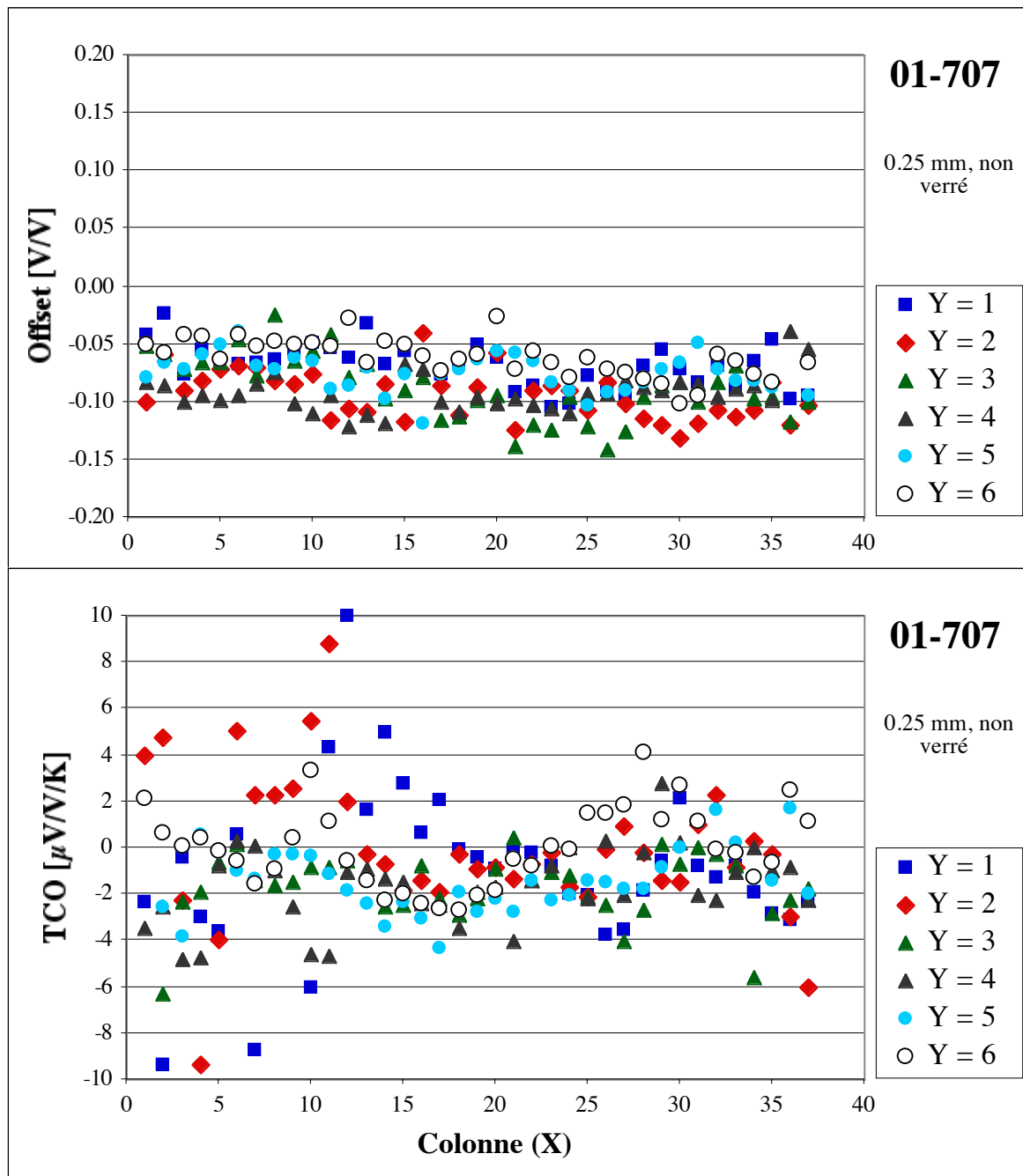


Figure 3–8. Offset et TCO des poutres du substrat 01–707, en fonction de la position sur le substrat.

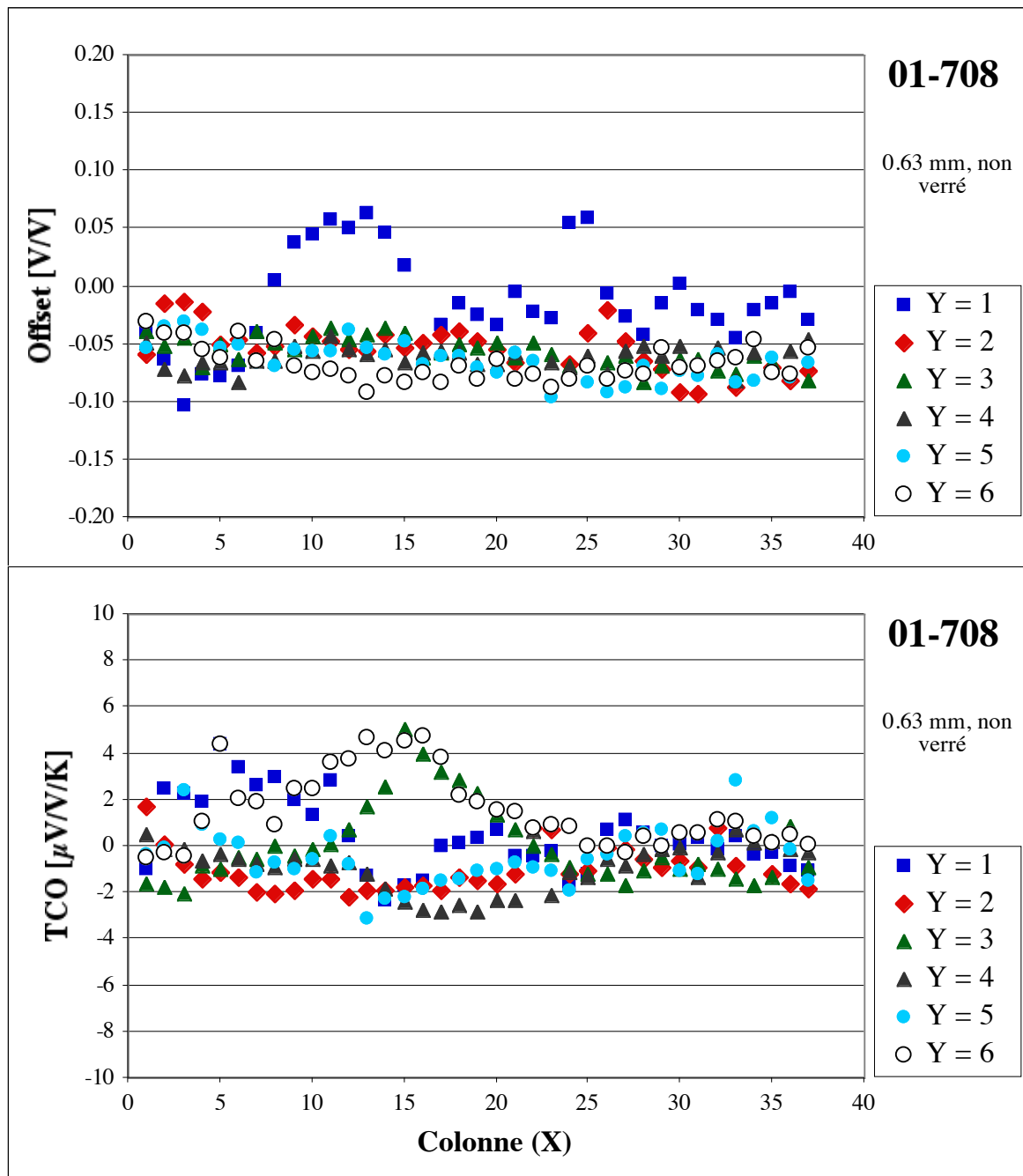


Figure 3–9. Offset et TCO des poutres du substrat 01–708, en fonction de la position sur le substrat.

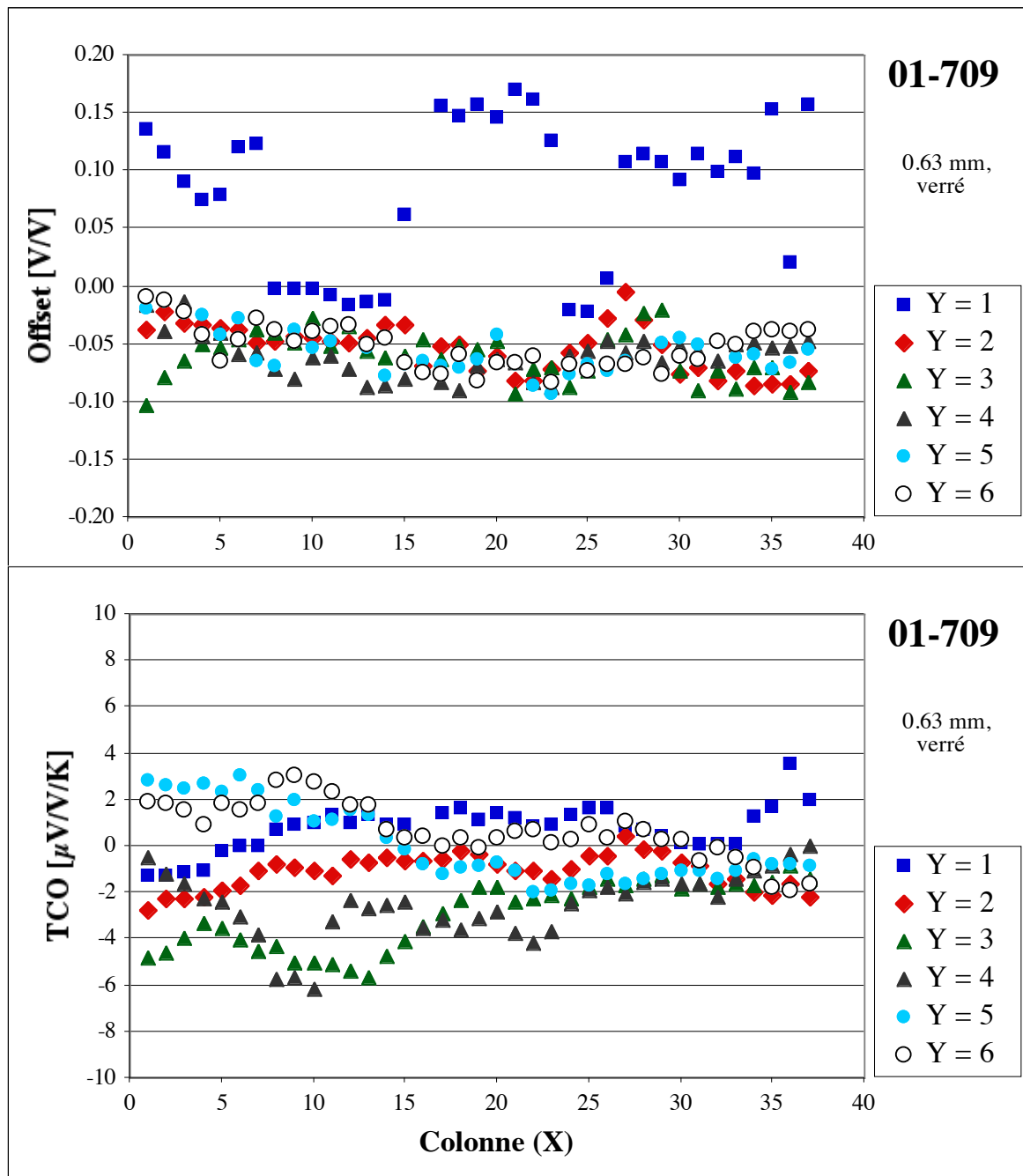


Figure 3–10. Offset et TCO des poutres du substrat 01–709, en fonction de la position sur le substrat.

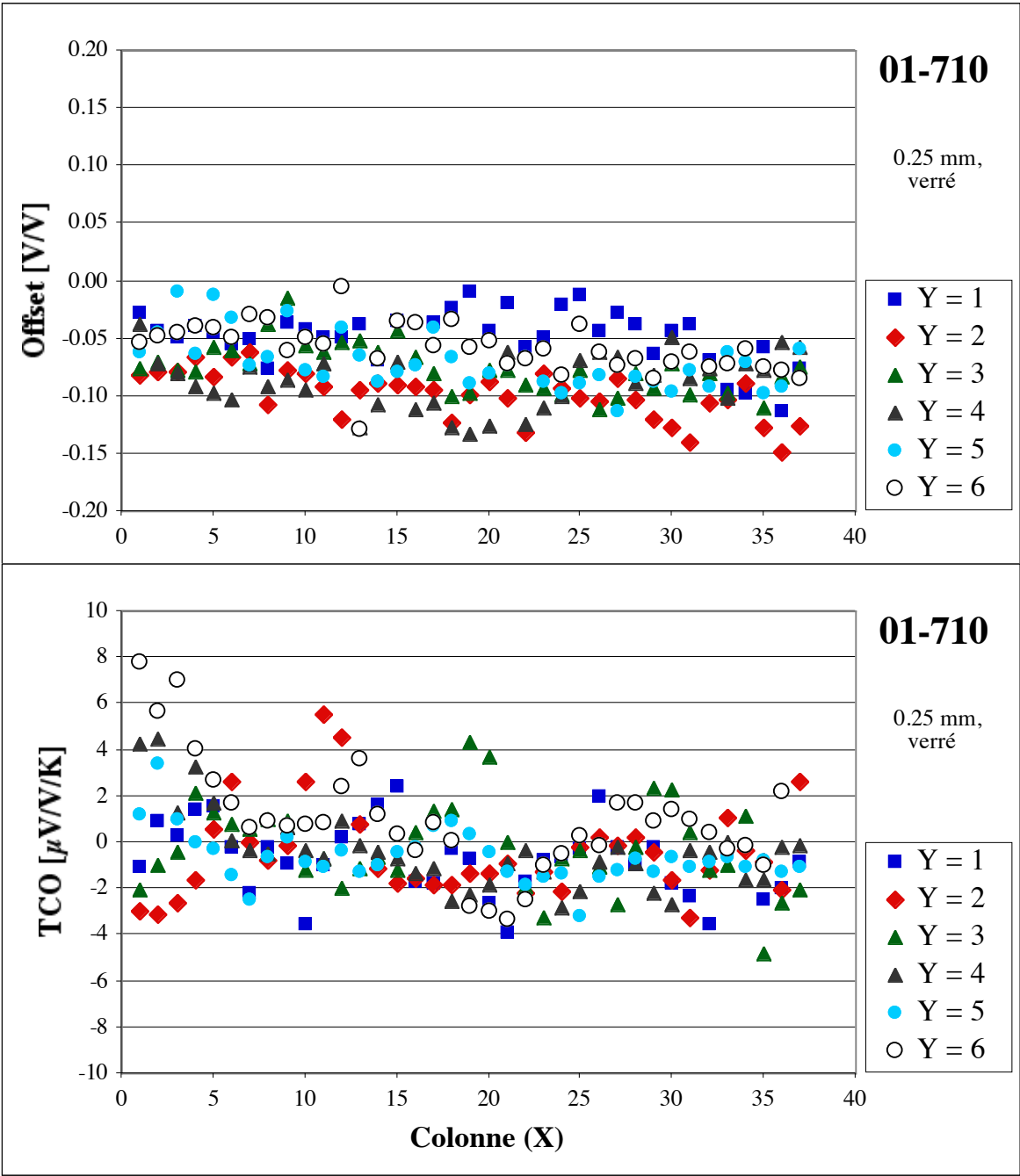


Figure 3–11. Offset et TCO des poutres du substrat 01–710, en fonction de la position sur le substrat.

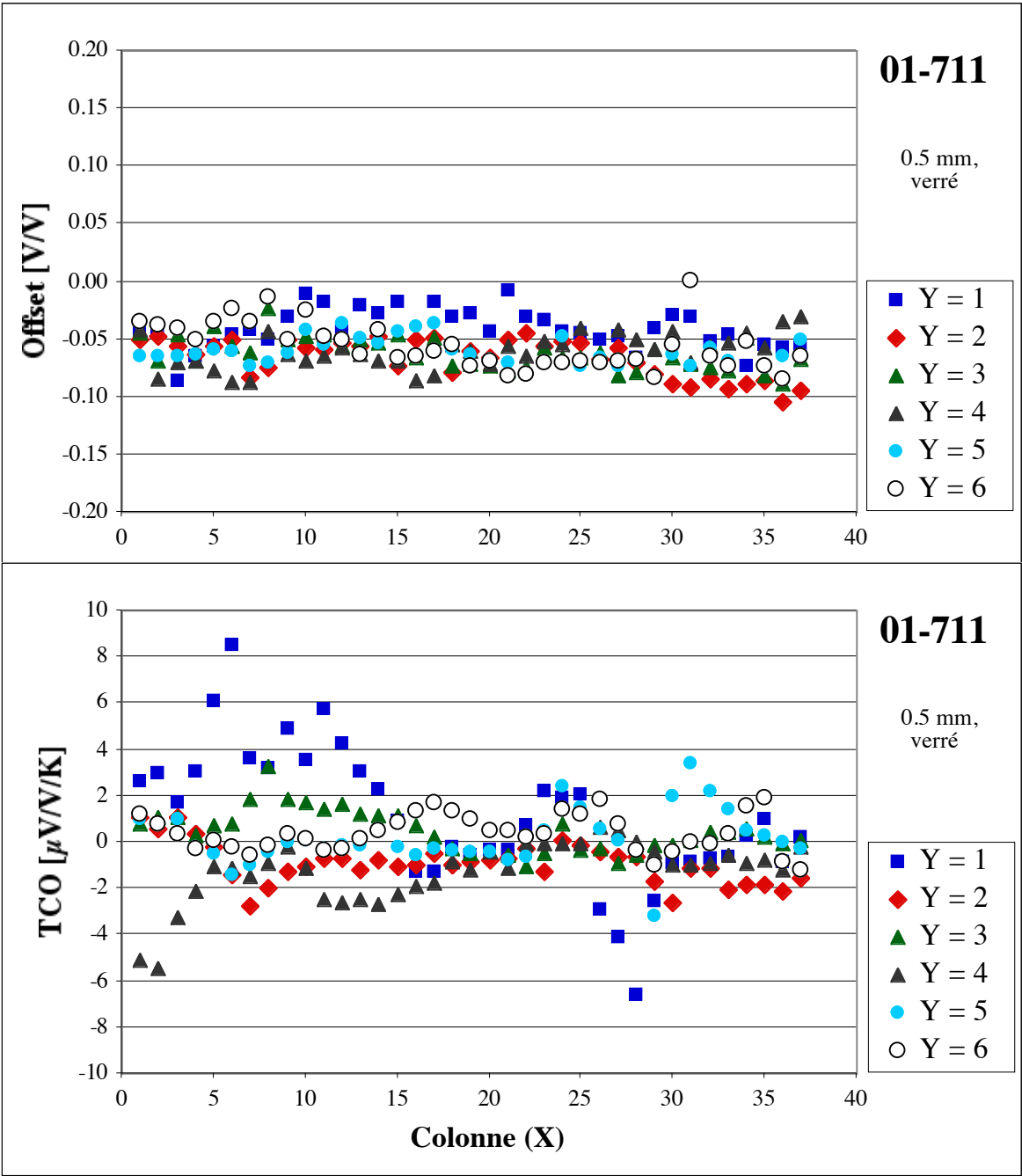


Figure 3–12. Offset et TCO des poutres du substrat 01–711, en fonction de la position sur le substrat.

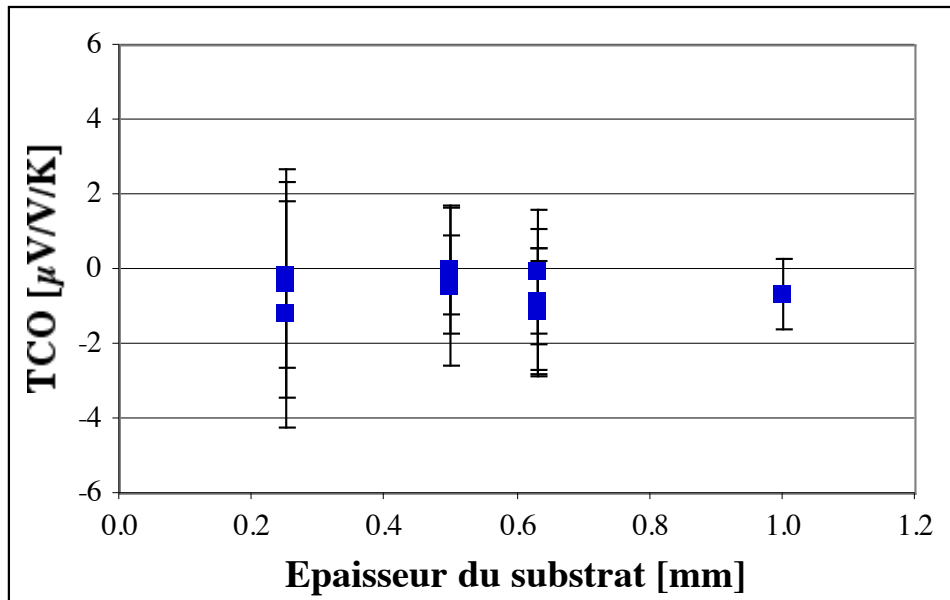


Figure 3–13. Coefficient en température de l'offset TCO (moyenne \pm écart-type par substrat), en fonction de l'épaisseur du substrat.

4. Conclusions

La présence d'une forte épaisseur de diélectrique lors de la sérigraphie des résistances de mesure de ces capteurs de force pose problème, en raison de la déformation de la trame. Cependant, il semble possible d'obtenir des résultats acceptables moyennant des conditions de sérigraphie adéquates. Plusieurs voies sont donc possibles pour les développements futurs.

- Dans un premier temps, il s'agit d'étudier en détail l'effet des conditions de sérigraphie (notamment de la pression sur la racle et le hors-contact), en utilisant les substrats existants où seules manquent les résistances de mesure.
- On peut ensuite essayer de diminuer l'épaisseur du monticule constitué par le diélectrique, en enlevant une couche, en sérigraphiant 2 couches plus minces et / ou en enlevant le renfort de conducteur.
- Pour éviter totalement ce problème, on peut aussi sérigraphier les résistances avant le diélectrique. Cette solution n'est en général pas appréciée, car elle implique plusieurs cuissons des résistances. On peut cependant essayer de mitiger le problème en effectuant des pré-cuissons à température inférieure, minimisant le budget thermique tout en stabilisant mécaniquement les résistances pour des opérations ultérieures. Cette méthode devra cependant être caractérisée avec des *test patterns*.
- Une variante de la solution précédente consiste à utiliser des co-cuissons pour éviter la de recuire les résistances. Cette méthode a l'avantage de rester dans le répertoire "standard", mais les co-cuissons sont plus risquées en cas de problème...
- Finalement, on peut mettre les résistances sur le diélectrique, solution qui a en outre l'avantage d'encore économiser de la largeur ou – si on ne peut plus diminuer la largeur de la poutre – permet d'augmenter la taille des résistances avec un effet favorable sur la dispersion des propriétés. Là aussi, une caractérisation par *test patterns* est nécessaire, notamment en ce qui concerne les effets de migration possibles si des conducteurs sont présents sous les résistances.